

champs extraîraient l'énergie de rotation du système, et la canaliserait dans deux jets le long de l'axe de rotation.

Dans ces jets, les régions les plus proches de l'axe contiendraient peu de protons. Ainsi les électrons relativistes y engendreraient un rayonnement

gamma intense et localisé. Si de nombreux détails restent à régler, les théories selon lesquelles les sursauts gamma sont produits après une coalescence d'étoiles sont les plus plausibles.

Comment départager les modèles ? Si l'un des satellites détecte un sursaut

démultiplié par une lentille gravitationnelle, les astronomes auront la certitude que les sursauts se produisent à des distances cosmologiques. Une lentille gravitationnelle est une galaxie ou un autre objet céleste dont la masse courbe les rayons lumineux ; lorsque

La parole aux observateurs

C'est parce qu'ils ne se manifestent avec éclat qu'aux plus hautes énergies que les sursauts gamma constituent depuis un quart de siècle l'une des plus grandes énigmes de l'astrophysique. En raison de leurs longueurs d'onde inférieures aux distances qui séparent les atomes, il est impossible de réfléchir ou de réfracter les rayons gamma. Sans dispositifs optiques à base de miroirs et de lentilles, les astronomes peinent à déterminer avec précision la position sur la voûte céleste des sources de rayons gamma. Or, c'est un préalable indispensable à l'étude de ces sources au moyen de télescopes opérant à d'autres longueurs d'onde, et c'est surtout en menant des campagnes d'observation multi-longueurs d'onde que les astronomes espèrent comprendre un jour la nature des sources de rayons gamma cosmiques.

Dans le cas précis des sursauts gamma, la réalisation de telles campagnes d'observation se heurte en plus au caractère évanescents des émissions recherchées. Pour les traquer, un dispositif qui fournirait en temps réel la direction d'origine des sursauts gamma avec une précision d'environ une minute d'angle est nécessaire. Ainsi, l'on peut braquer très rapidement dans cette même direction les télescopes terrestres ou spatiaux les plus performants, donc à champs étroits. L'expérience BATSE, à bord de l'Observatoire *Compton*, qui détecte les sursauts gamma au rythme d'un événement par jour, ne parvient à les localiser sur la voûte céleste qu'avec une précision de quelques degrés. Il serait trop long de fouiller une telle «boîte d'erreur» avec des télescopes dont le champ se mesure en minutes d'angle ! C'est donc pour les appareils montés à bord du satellite italien *Beppo-SAX* une performance scientifique remarquable d'avoir fourni en temps quasi réel la direction d'origine d'une poignée de sursauts gamma avec une précision de quelques minutes d'angle.

À bord de *Beppo-SAX*, le mécanisme de détection est organisé de la manière suivante : dès que le moniteur de sursauts détecte l'arrivée d'une bouffée de rayons gamma entre 40 et 700 kiloélectronvolts, l'équipe scientifique qui contrôle le satellite examine les données collectées par les deux caméras néerlandaises à grand champ opérant dans la bande d'énergie voisine des rayons X entre 2 et 30 kiloélectronvolts. Ces deux caméras couvrant environ cinq pour cent de la voûte céleste, la probabilité n'est pas négligeable qu'un sursaut apparaisse dans le champ de l'une ou de l'autre. Fonctionnant sur le principe des ouvertures codées, ces deux appareils produisent des images permettant d'estimer la position des sursauts avec une précision de trois minutes d'angle.

Les opérateurs de *Beppo-SAX* manœuvrent alors le satellite afin de pointer cette direction avec deux télescopes à champ étroit qui opèrent respectivement dans les bandes des rayons X de 0,1 à 10 kiloélectronvolts et de 2 à 10 kiloélectronvolts. Forts d'un dispositif à miroir à incidence rasante, ces appareils localisent alors les sources avec une précision de 50 secondes d'angle.

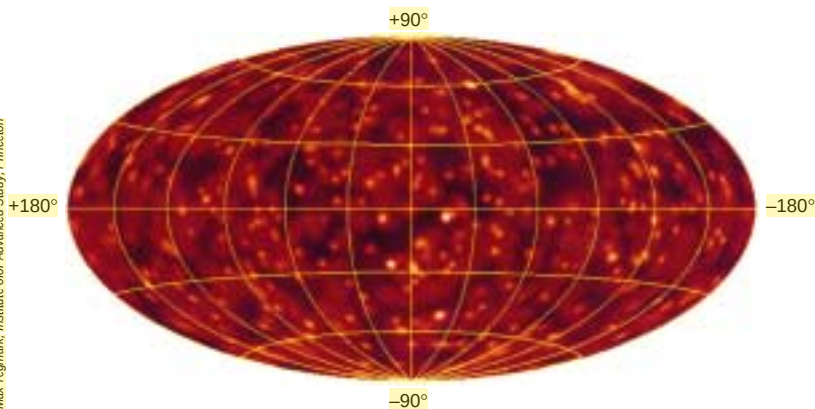
Après avoir pris, depuis plus de 20 ans, une part décisive aux observations des sursauts gamma, notamment avec les expériences françaises réalisées sous l'impulsion de Gilbert Vedrenne, par le Centre d'étude spatiale des rayonnements, à Toulouse, l'Europe se retrouve avec *Beppo-SAX* à la pointe des recherches sur les sursauts. L'expérience américaine BATSE a certes fourni un catalogue impressionnant de sursauts, mais faute de pouvoir mesurer avec précision leur direction d'arrivée, l'équipe BATSE n'a pas pu aborder la question cruciale de la nature des astres à l'origine des sursauts, autrement que par le biais d'études statistiques portant sur la répartition des événements sur la voûte céleste. Même si ces études semblent favoriser l'hypothèse d'une origine extra-galactique des sursauts, les seules données collectées par BATSE n'excluent pas la possibilité d'une origine beaucoup plus locale.

Pour séduisante qu'elle soit, l'idée que des coalescences d'étoiles à neutrons dans de lointaines galaxies soient à l'origine des sursauts gamma ne repose que sur des supputations théoriques. Aujourd'hui encore, on s'interroge pour savoir si les premières données collectées à la suite des observations de *Beppo-SAX* apportent ou non un quelconque crédit à cette hypothèse. Certains voient dans les images fournies par le Télescope spatial *Hubble* la trace d'une très lointaine galaxie coïncidant avec la source d'émission rémanente identifiée avec le sursaut du 28 février 1997. Patrizia Caraveo, de l'Institut de physique cosmique de Milan, et ses collègues, notent au contraire que, d'une image de *Hubble* à l'autre, la source se serait déplacée par rapport aux autres étoiles du champ, indiquant sa présence dans la proche banlieue galactique.

Même si *Beppo-SAX* a permis une remarquable percée scientifique, il faut se garder d'y voir le commencement de la fin du mystère lancinant des sursauts gamma, mais plutôt la fin heureuse d'une première étape où les astronomes ne pouvaient compter que sur les seules données gamma pour déterminer la nature des sites célestes à l'origine de ces formidables bouffées de rayons gamma.

Jacques PAUL

Service d'astrophysique du CEA, Saclay



6. LA RÉPARTITION DES SURSAUTS dans le ciel, mesurée par le détecteur de sursauts et de sources transitoires BATSE, n'indique pas de concentration le long de la Voie lactée (ligne horizontale sur la carte), mais une répartition uniforme. BATSE se trouve à bord de l'Observatoire Compton, que l'on voit ici en cours de déploiement.

le rayonnement d'une étoile située derrière la lentille est dévié, on observe plusieurs images de l'étoile originelle, disposées en arcs autour de la lentille. Pour l'instant cependant, la médiocre résolution spatiale des détecteurs de rayonnements gamma n'autorise pas de telles détections.

En outre, contrairement aux étoiles, les sursauts ne sont pas des sources persistantes. Un sursaut gamma démultiplié par une lentille gravitationnelle apparaîtrait comme deux sursauts provenant plus ou moins de la

même direction, possédant un spectre et une évolution semblables, mais dont les intensités et les temps d'arrivée diffèreraient (la différence de temps résulte de la différence de longueur des chemins empruntés par le rayonnement autour de l'objet faisant office de lentille).

Pour mieux cerner l'origine de l'explosion sous-jacente, une étude multifréquence est nécessaire. On pourrait alors découvrir la «contrepartie» du sursaut à d'autres longueurs d'onde et identifier la source, condition nécessaire à la compréhension du phénomène (*voir l'encadré ci-contre*). Jusqu'à GRB 970228, on n'avait jamais observé de contrepartie dans le visible, mais, désormais, on espère en trouver en localisant très précisément les sursauts.

Des télescopes en veille

Depuis le début des années 1970, Kevin Hurley, de l'Université de Berkeley, et Thomas Cline, du Centre *Godard* de la NASA, prônent la mise en place de réseaux internationaux pour la détection des sursauts. Ils tentent de placer un détecteur de rayonnements gamma à bord de chaque sonde spatiale ou de lancer des dispositifs spécialisés. En comparant les temps de réception d'un sursaut par deux satellites éloignés, ils espèrent le localiser à mieux que quelques minutes d'angle.

L'efficacité du réseau varie beaucoup selon le nombre d'instruments qui y prennent part et leur distance dans l'espace. Aujourd'hui, cinq composantes du réseau sont actives : BATSE, *Beppo-SAX* et le satellite militaire *DMSP*, tous trois proches de la Terre ; la sonde *Ulysse*, très loin au-dessus du plan du Système solaire ; et la sonde *Wind*, en orbite autour du Soleil. Les don-



7. DES TÉLESCOPES ROBOTISÉS sur une colline près du Laboratoire Lawrence Livermore recherchent l'émission rémanente d'un sursaut quelques secondes après avoir reçu sa localisation de BATSE.